

〔報告〕 高松塚古墳石室および周辺部由来カビの 温度帯による生理学的性状 - 発育性および色調変化 -

高鳥 浩介*・高鳥 美奈子*・久米田 裕子*²・木川 りか・佐野 千絵

1. はじめに

高松塚古墳石室でカビ発生による壁画への影響が問題とされた。石室は高湿かつ低温下であり、同環境でどのようにカビが発生し、かつ壁画の劣化、とくに暗色化とどのように関わったかを知るために生理学的性状を検討した。すなわち、石室およびその周辺カビによる壁画等の劣化と石室内温度との関係を検討するために温度帯によるカビの発育性及び暗色化による色調変化、さらにカビの発育による菌体外代謝物の産生性について検証した。

2. 方法及び材料

2-1. 供試カビ

供試したカビは高松塚古墳石室及び周辺から分離した以下の6種カビである。

- 1) *Penicillium paneum* T12 (=TM789) (石室, 2006年3月10日)
- 2) *Penicillium corylophilum* T788 (=TM788) (石室, 2006年3月10日)
- 3) *Fusarium solani* T118 (=TM793) (取合部, 2006年3月10日)
- 4) *Trichoderma* sp. T221 (=TM792) (取合部, 2006年5月17日)
- 5) *Gliocladium roseum* T795 (=TM795) (石室, 2006年3月10日)
- 6) 暗色系 *Acremonium* sp. T791 (=TM791) (石室, 2006年5月17日)

2-2. 試験検討項目

(1) 温度帯による集落性状変化に関する検討

石室内はほぼ10℃台の低温であることから以下の温度域でのカビ発育性を観察した。また、発育を長期間観察するために最長8カ月まで観察した。

供試カビ 上記6種のカビを用いた。

培養温度 12℃ 15℃ 20℃ 25℃ 32℃

培養期間 4ヶ月 8カ月

集落性状の観察は、低温下での発育性および石室での暗色化が指摘されたことからカビによる暗色化をとくに検討した。

培養は、石室壁面にカビの発生をみたことから貧栄養下で実施した。すなわち、1/10ポテトデキストロース (PD) 寒天平板 (60mm 径) とした培地を用いた。

この培地に各カビを接種し、それぞれの培養温度で最大8カ月まで培養し、その間所定時間毎に集落性状の観察を行った。

(2) 暗色系菌体外代謝産物産生性の検討

暗色化がカビの代謝物による場合が想定され、菌体外代謝産物産生色素の検討を行った。処理条件は以下の通りであった。

培養温度：10℃，25℃

培養期間：2ヶ月

菌体外代謝産物産生性の確認実験は、PD寒天平板（直径90mm）にセロファンを敷き、その上にカビを接種して培養して行った。所定期間培養後、菌体とセロファンを除去し、菌体外へ分泌される色素を観察した。

3. 結果及び考察

3-1. 温度帯による集落性状変化

高松塚石室および周辺部から分離したカビ6種を用いた。

結果の表は各カビについてまとめた。すなわち、横軸に1カ月，2カ月，3カ月および4ヶ月後とし、縦に各培養温度での発育大きさ，色調および表面性状を記した。

1) *Penicillium paneum* の生理学的性状

P. paneum について発育性，色調変化をまとめた（表1，図1，図2：口絵参照）。

発育した集落の大きさは，低温の12℃，15℃では発育性弱いと20℃では発育性著しかった。

表面性状は，12℃および15℃では菌糸状であったが3ヶ月後には孢子産生した。20℃では1カ月で孢子産生した。32℃では発育集落が小さく活性が低下したものと思われた。

発育した本カビの色調変化では，低温ほど暗色化が確認された。

2) *Penicillium corylophilum* の生理学的性状

P. corylophilum について発育性，色調変化をまとめた（表2，図1，図2）。

発育した集落の大きさは，低温の12℃，15℃ではやや小さいが，20℃では発育が著しかった。

表面性状は，12℃および15℃では菌糸状であったが3ヶ月後には孢子産生した。20℃では1カ月で孢子産生した。32℃では発育集落が著しく小さく活性が低下したものと思われた。

色調変化では，低温ほどやや暗色化が確認された。

3) *Fusarium solani* の生理学的性状

F. solani について発育性，色調変化をまとめた（表3，図1，図2）。

集落の大きさは，低温の12℃，15℃ではやや小さいが20℃では発育性著しかった。

表面性状は，12℃および15℃では菌糸状であったが3ヶ月後には孢子産生した。20℃では1カ月で孢子産生した。

色調変化では，低温ほどやや褐色調となった。

4) *Trichoderma* sp. の生理学的性状

Trichoderma sp. について発育性，色調変化をまとめた（表4，図1，図2）。

集落の大きさは，低温の12℃では小さいが15℃以上では発育著しかった。

表面性状は，12℃では白色菌糸状であったが2ヶ月後には孢子産生して緑色となった。15℃では2カ月で孢子産生した。一方，32℃では発育集落が大きく活性がやや高温でも維持しているものと思われた。

色調変化では、低温ほどやや暗緑色化が確認された。

5) *Gliocladium* sp. の生理学的性状

Gliocladium sp. について発育性、色調変化をまとめた(表5, 図1, 図2)。

集落の大きさは、低温の12℃では小さいが15℃以上では発育著しかった。

表面性状は、12℃, 15℃では白色菌糸状であったが2ヶ月後には孢子産生して緑色となった。20℃では1カ月で孢子産生した。

色調変化では、低温ほどやや緑色化が確認された。

6) 暗色系 *Acremonium* sp. の生理学的性状

暗色系 *Acremonium* sp. について発育性、色調変化をまとめた(表6, 図1, 図2)。

集落の大きさは、低温の12℃, 15℃では小さいが20℃以上では発育著しかった。

表面性状は、12℃, 15℃では白色または灰色菌糸状であったが4ヶ月後には孢子産生して暗灰色となった。20℃では1カ月で孢子産生した。32℃では発育集落が小さく活性が低下したものと思われた。

色調変化では、低温から25℃でやや緑色化が確認された。

表1 *Penicillium paneum* の発育性および色調変化

	1ヵ月後	2ヵ月後	3ヵ月後	4ヵ月後
12℃				
集落の直径 (mm)	2	6	9	14
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸孢子	孢子	孢子
15℃				
集落の直径 (mm)	5	12	21	30
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸孢子	孢子	孢子
20℃				
集落の直径 (mm)	12	34	45	50
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	孢子	孢子	孢子	孢子
25℃				
集落の直径 (mm)	15	46	54	56
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	孢子	孢子	孢子	孢子
32℃				
集落の直径 (mm)	7	13	19	22
色調	淡緑	淡緑	淡緑	淡緑
表面性状	菌糸のみ	菌糸孢子	菌糸孢子	菌糸孢子

表2 *Penicillium corylophilum* の発育性および色調変化

	1ヵ月後	2ヵ月後	3ヵ月後	4ヵ月後
12℃				
集落の直径 (mm)	4	26	40	50
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸孢子	孢子	孢子
15℃				
集落の直径 (mm)	13	26	43	52
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸孢子	孢子	孢子
20℃				
集落の直径 (mm)	26	43	55	57
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	孢子	孢子	孢子	孢子
25℃				
集落の直径 (mm)	38	57	57	57
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	孢子	孢子	孢子	孢子
32℃				
集落の直径 (mm)	10	15	22	32
色調	淡緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸

表3 *Fusarium solani* の発育性および色調変化

	1ヵ月後	2ヵ月後	3ヵ月後	4ヵ月後
12℃				
集落の直径 (mm)	10	18	45	55
色調	白	白	淡褐	淡褐
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸
15℃				
集落の直径 (mm)	18	28	38	54
色調	白	淡褐	淡褐	淡褐
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸孢子
20℃				
集落の直径 (mm)	29	39	50	60
色調	淡褐	淡褐	淡褐	淡褐
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸孢子	菌糸孢子
25℃				
集落の直径 (mm)	34	45	56	57
色調	淡褐	淡褐	淡褐	淡褐
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸孢子	菌糸孢子
32℃				
集落の直径 (mm)	6	18	38	46
色調	白	白	淡褐	淡褐
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸

表4 *Trichoderma* sp. の発育性および色調変化

	1ヵ月後	2ヵ月後	3ヵ月後	4ヵ月後
12℃				
集落の直径 (mm)	7	18	29	48
色調	白	薄緑	薄緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸胞子
15℃				
集落の直径 (mm)	19	29	60	60
色調	薄緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子
20℃				
集落の直径 (mm)	60	60	60	60
色調	濃緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子
25℃				
集落の直径 (mm)	60	60	60	60
色調	濃緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子
32℃				
集落の直径 (mm)	42	57	60	60
色調	薄緑	薄緑	薄緑	薄緑
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸

表5 *Gliocladium* sp. の発育性および色調変化

	1ヵ月後	2ヵ月後	3ヵ月後	4ヵ月後
12℃				
集落の直径 (mm)	10	18	28	43
色調	白	薄緑	薄緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸胞子
15℃				
集落の直径 (mm)	21	32	48	57
色調	白	薄緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸胞子	菌糸胞子
20℃				
集落の直径 (mm)	35	49	60	60
色調	濃緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子
25℃				
集落の直径 (mm)	45	59	60	60
色調	濃緑	濃緑	濃緑	濃緑
表面性状	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子	菌糸胞子
32℃				
集落の直径 (mm)	21	32	34	34
色調	白	薄緑	薄緑	薄緑
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸

表6 暗色系 *Acremonium* sp. の発育性および色調変化

	1ヵ月後	2ヵ月後	3ヵ月後	4ヵ月後
12℃				
集落の直径 (mm)	8	11	26	34
色調	白	白	灰	暗灰
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸孢子
15℃				
集落の直径 (mm)	14	21	33	41
色調	灰	灰	灰	暗灰
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸孢子	菌糸孢子
20℃				
集落の直径 (mm)	25	38	52	58
色調	灰	暗灰	暗灰	暗灰
表面性状	菌糸	菌糸孢子	菌糸孢子	菌糸孢子
25℃				
集落の直径 (mm)	32	44	55	58
色調	黒	黒	黒	黒
表面性状	菌糸孢子	菌糸孢子	菌糸孢子	菌糸孢子
32℃				
集落の直径 (mm)	9	13	21	29
色調	白	茶	茶	茶
表面性状	菌糸	菌糸	菌糸	菌糸

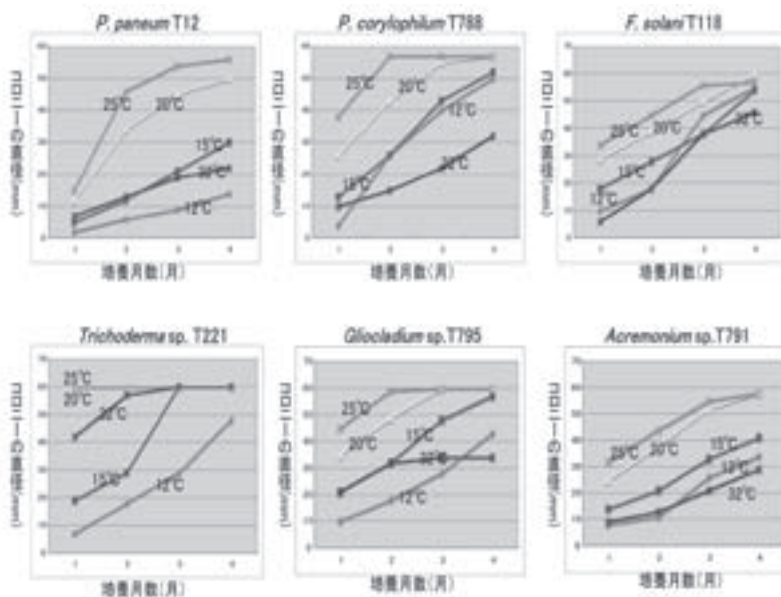
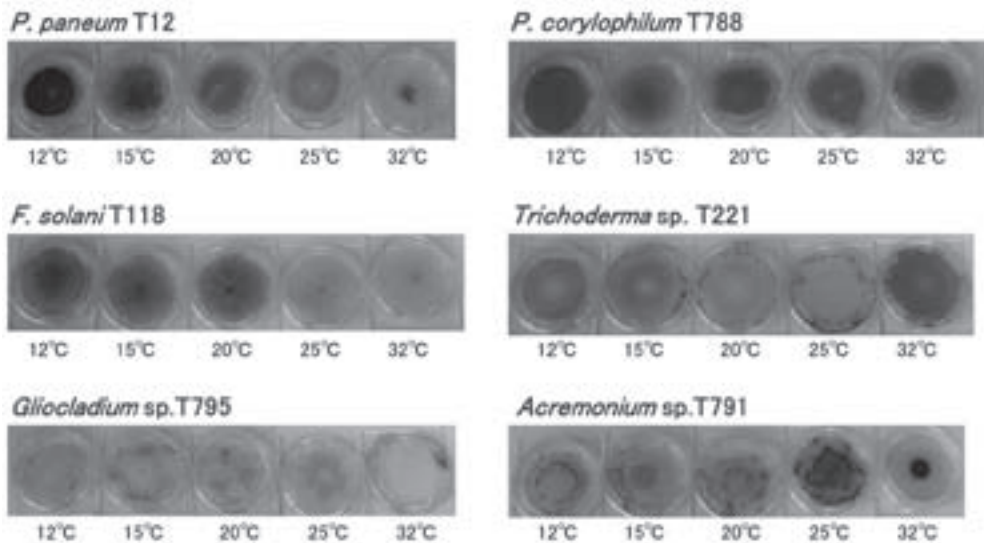


図1 高松塚古墳由来カビの温度帯による発育性

(4ヶ月後)



(8ヶ月後)

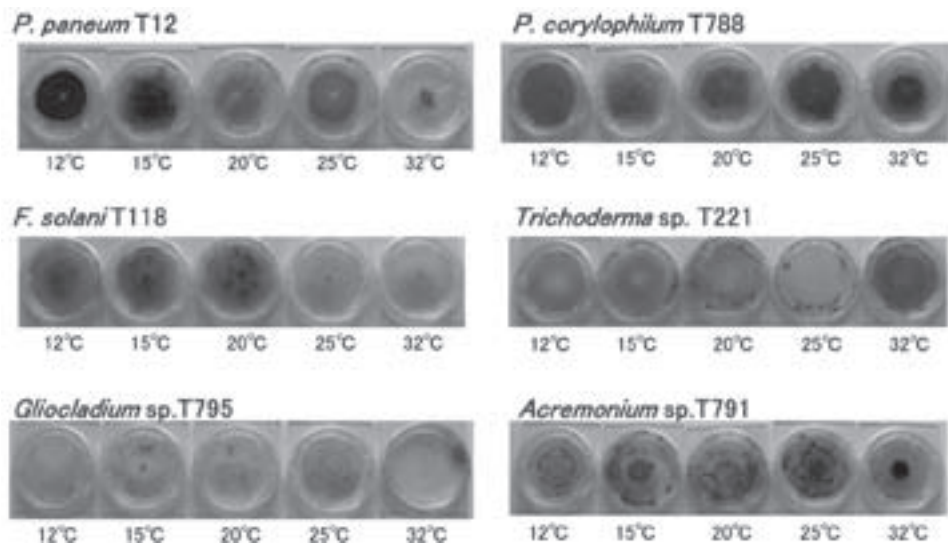


図2 高松塚古墳由来カビの色調変化 上：4ヶ月後 下：8ヶ月後

3-2 暗色系の菌体外代謝産物産生性

6種のカビについて暗色系の菌体外代謝産物の産生試験を行ったところ、2カ月後に *P. paneum*, *P. corylophilum*, *Trichoderma* sp. 暗色系 *Acremonium* sp. で菌体外の暗色系代謝物が確認された(図3:口絵参照)。同所における暗色化に関わっているものと思われる。

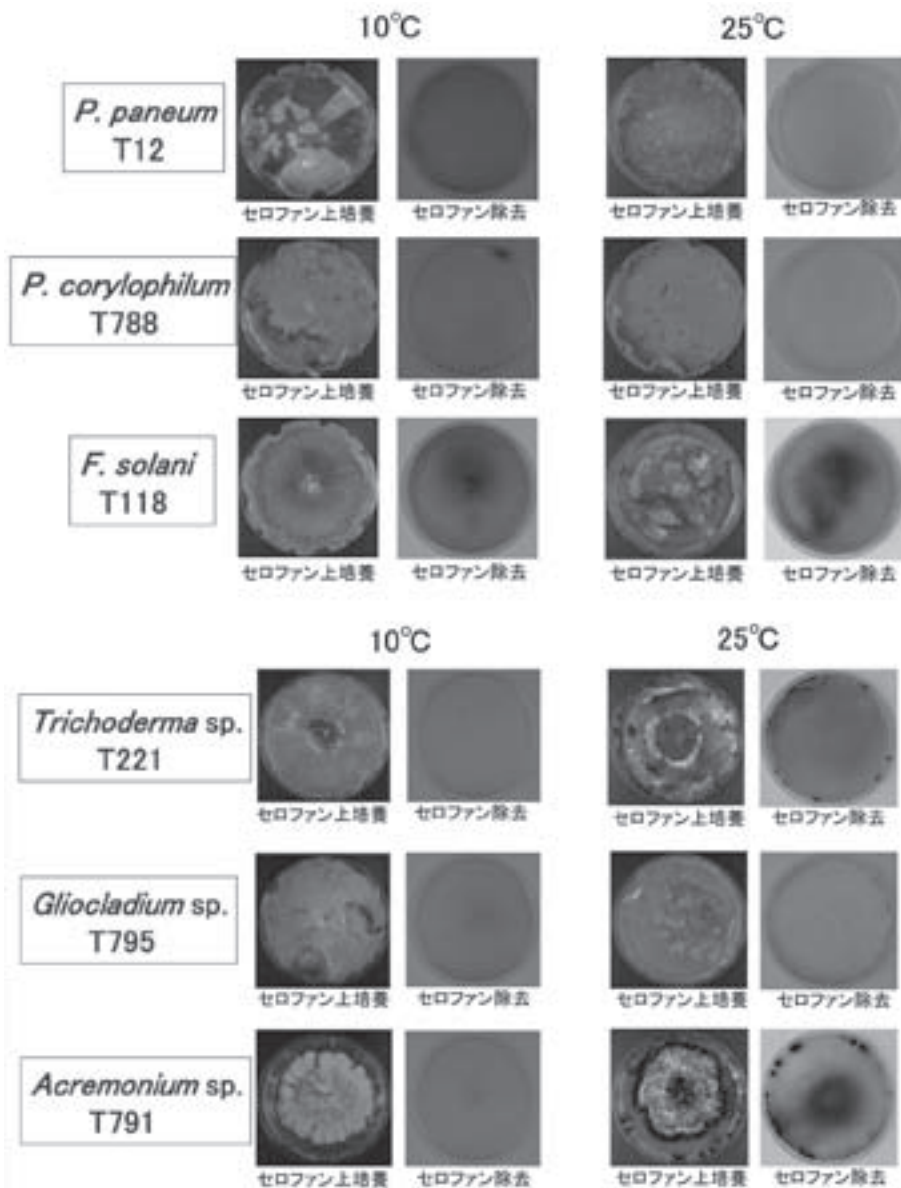


図3 古墳由来カビの暗色代謝産物産生性(2ヶ月後)

4. まとめ

高松塚古墳石室での壁画暗色化の一原因としてカビが挙げられ、同所から分離した6種のカビを用いて 1) 温度帯による集落の生理学的性状の変化に関する検討 および2) 暗色系の菌体外代謝産物産生性について検討を行った。

その結果、温度帯により発育性状が異なり、10℃台の低温度域では発育が遅いものの *Penicillium* など数種のカビで暗色傾向を示すものが確認された。

また、低温下でのカビの発育による代謝物が想定され、菌体外の代謝産物産生色素の検討を行ったところ明らかに暗色系代謝物を産生することも分かった。

参考文献

- 1) 国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会 (第6回) 資料5-2 2006年文化庁
- 2) 国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会 (第7回) 資料4 2006年文化庁
- 3) 木川りか, 佐野千絵, 石崎武志, 三浦定俊: 高松塚古墳の微生物対策の経緯と現状, 保存科学, 45, 33-58 (2006)
- 4) 木川りか, 佐野千絵, 石崎武志, 三浦定俊: 高松塚古墳における菌類等微生物調査報告 (平成18年), 保存科学, 46, 209-220 (2007)
- 5) 木川りか: 高松塚古墳に生息するカビ 文化庁月報, No.461, 14-15 (2007)
- 6) 高鳥浩介: 高松塚古墳壁画におけるカビ対策, 文部科学時報, No.1576, 52-53 (2007)
- 7) 高松塚古墳壁画恒久保存対策プロジェクトチーム 文化庁月報 No.466, 4-11 (2007)
- 8) 高松塚古墳劣化原因調査検討会 第11回 資料 2009年
- 9) 高松塚古墳劣化原因調査検討会 第12回 資料 2009年

キーワード: 古墳 (tumulus); カビ (molds); 生理学 (physiological); 生物学 (biological); 暗色化 (dark colored); 低温 (low temperature)

Physiological and Biological Studies on the Growth of Fungi Isolated from Takamatsuzuka Tumulus

Kosuke TAKATORI^{*}, Minako TAKATORI^{*}, Yuko KUMEDA^{*2},
Rika KIGAWA and Chie SANŌ

The growth pattern and colonial changes of fungi isolated from Takamatsuzuka Tumulus were investigated by physiological and biological findings. To study their growth characteristics and colonial changes, fungi were cultivated at 12°C, 15°C, 20°C, 25°C and 32°C for 8 months. Confirmation of extracellular metabolites, which related with the dark color produced by the fungi, was also carried out at low temperature under 20°C. As a result, it was found that some fungi such as *Penicillium* spp. *F. solani*, *Trichoderma* sp. and *Acremonium* sp. grew under low temperature and also showed dark colored mycelium and dark colored products of extracellular metabolites.

^{*} NPO Center for Fungal Consultation

^{*2} Institute of Public Health of Osaka Prefecture